昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, June 2006, 49(3):393 – 398 ISSN 0454-6296

安徽虫瘟霉的黍米培养及其对桃蚜的侵染力

鲍佳生, 冯明光*

(浙江大学微生物研究所,杭州 310058)

摘要:安徽虫瘟霉 *Zoophthora anhuiensis* (Li) Humber 是较难人工培养的蚜虫专化性病原真菌。将灭菌并适度熟化的黍米 *Panicum miliaceum* L. 作为固体基质与挑碎的安徽虫瘟霉平板菌落混合,在 20℃和 12L:12D 的温光条件下静止固体培养,获得了产孢潜能大、杀蚜活性强的米粒培养物。培养 7 天的黍米的产孢量达 13.0×10^4 个孢子/粒,产孢持续时间长达 6 天。用此黍米培养物弹射的孢子对桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 若蚜进行 7.9 ~ 134.9 个孢子/mm^2 共 9 个剂量的孢子浴接种,所获数据很好拟合时间-剂量-死亡率模型。接种后第 5 ~ 7 天各天的 LC_{50} 依次为 59.8, 39.5 和 33.5 个孢子/mm^2, LC_{90} 依次为 354, 234 和 198 个孢子/mm^2。在 57.7 ~ 134.9 个孢子/mm^2 的接种剂量范围内,致死中时 LT_{50} 从 5.1 天下降到 4.3 天。由此表明,安徽虫温霉的黍米培养不仅简单易行,而且菌种的产孢和侵染生物学特性在培养物中被充分体现,每颗米粒如同自然罹病而死的蚜尸,值得进一步研究开发和利用。

关键词:安徽虫瘟霉;桃蚜;黍米培养;产孢潜能;侵染力

中图分类号:Q969 **文献标识码**:A **文章编号**:0454-6296(2006)03-0393-06

Broomcorn millet grain cultures of the obligate aphid pathogen *Zoophthora anhuiensis* (Entomophthorales) and their infectivity to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae)

BAO Jia-Sheng, FENG Ming-Guang* (Institute of Microbiology, College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The obligate aphid pathogen, *Zoophthora anhuiensis* (Li) Humber (Entomophthorales), is difficult to be propagated *in vitro*. In this study, the broomcorn millet *Panicum miliaceum* L. in flasks was used as solid substrate to ease *in vitro* propagation of the fungal pathogen. Properly steamed millet grains in flasks were mixed with pieces of the fungal colonies grown on the plates of Sabouraud egg yolk-milk agar and then maintained for stationary incubation at the regime of 20℃ and 12L: 12D. The 7-day-old millet cultures produced 13.0×10^4 conidia/grain and persistently sporulated for up to 6 days. The conidia discharged from the cultured grains were used to inoculate via spore shower the nymphs of the green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) on cabbage leaves at nine dosages of 7.9 ~ 134.9 conidia/mm^2. Data resulted from 7-day observation of the inoculated aphids fit very well to the time-dose-mortality model. Based on time- and dose-effect parameters estimated from the modeling, the LC_{50} and LC_{90} of the fungus against *M. persicae* were 59.8 and 354 conidia/mm^2 on day 5 after spore shower, 39.5 and 234 conidia/mm^2 on day 6, and 33.5 and 198 conidia/mm^2 on day 7, respectively. The LT_{50} decreased to 4.3 days at the dose of 134.9 conidia/mm^2 from 5.1 days at 57.7 conidia/mm^2. The results showed that the millet method for propagation of the obligate aphid pathogen was not only easy and convenient but produced desirable millet cultures with each grain sporulating very well and infecting aphids as a natural host cadaver.

Key words: *Zoophthora anhuiensis*; *Myzus persicae*; broomcorn millet culture; sporulation capacity; infectivity

安徽虫瘟霉 *Zoophthora anhuiensis* (Li) Humber 是仅见于我国的蚜虫专化性病原真菌,属于接合菌

基金项目:国家自然科学基金重点项目(30430150)

作者简介:鲍佳生,男,1982 年生,福建福州人,硕士研究生,应用微生物研究方向, E-mail: gasheng@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: mgfeng@zju.edu.cn

收稿日期 Received:2005-12-02;接受日期 Accepted:2006-03-31

门的虫霉目（Entomophthorales）、虫霉科（Entomophthoraceae），于 1986 年首次按新种以安徽虫疫霉 *Erynia anhuiensis* Li 的名称被描述（李增智，1986），获得国际承认并在随后的虫霉目分类系统修订中被更订为现名（Humber，1989）。作为重要的蚜虫自然控制因子和可利用的生物防治菌种资源，安徽虫瘟霉常在秋冬季（10～12 月）诱发长江中下游地区蔬菜蚜虫种群的流行病，这一季节温和多雾（湿润）的气候恰与其侵染流行的环境条件要求相吻合（李惠萍和冯明光，2000，2001a），受侵染的蚜虫仅过几天就发病死亡（Feng *et al*.，1998），而且发病潜伏期内生殖力剧降（李惠萍和冯明光，2001b）；更由于发病蚜群内个体间的相互传染，使感病蚜群在适宜环境下不可避免地快速消亡（冯明光和李惠萍，2001；Feng and Li，2003）。由于与蚜虫寄主的紧密关系，安徽虫瘟霉可借有翅蚜迁飞和异地定殖而传播（Feng *et al*.，2004）。

同很多寄主专化性虫霉一样，安徽虫瘟霉虽可分离培养，但条件极为苛刻，通常只在加入牛奶和蛋黄的萨氏培养基（SEMA）上才能生长，很难大量繁殖。事实上，寄主专化性虫霉的人工大量繁殖是一国际性难题。由于虫霉具有主动弹射分生孢子而侵染寄主的生物学特点（Humber，1989）和液相发酵生产的虫霉菌丝极其脆弱而很难有效利用（Latteur and Godefroid，1983；McCabe and Soper，1985；Wilding and Latteur，1987），欧洲学者尝试了将菌丝包埋于凝胶材料之中，获得了具有产孢特性和侵染力的凝胶化菌丝颗粒（Shah *et al*.，1998，1999），但其工艺繁琐，成本较高，适用性不强。本实验室近年另辟新径探索虫霉简易人工繁殖的途径，用我国北方盛产的一种粘性黍米 *Panicum miliaceum* L. 作为直接固相发酵的基质培养飞虱虫疠霉 *Pandora delphacis*（Hori）Humber、新蚜虫疠霉 *P. neoaphidis*（Remaudière & Hennebert）Humber 及根虫瘟霉 *Z. radicans*（Brefeld）Batko，相继获得成功（Feng and Liang，2003；Feng and Hua，2005；Hua and Feng，2005）。本文首次报道安徽虫瘟霉黍米培养物的产孢生物学特性及其杀虫活性，也是本实验室有关虫霉黍米培养的系列研究报道之一。

1 材料与方法

1.1 供试菌种

采用 SEMA 平板自 2004 年 11 月在杭州郊区采集的自然罹病蚜尸上分离获得安徽虫瘟霉菌株 ZU1102，3℃下黑暗保存于 OS-SDAY 斜面上，每半年转接一次。保藏的斜面菌种先在 SEMA 平板上活化培养（温度 20℃，光照 12L∶12D）10 天备用。

1.2 黍米培养

黍米（俗称小黄米）购自杭州农贸市场，每 15 g 置于容量为 100 mL 的锥形瓶中，热水浸泡 30 min 后洗净沥干，经高温（121℃）湿热灭菌 15 min 后自然冷却至室温。然后，将 SEMA 平板活化培养的半个菌落挑碎，移入 3 mL 萨氏培养液（葡萄糖 4%，蛋白胨 1%及酵母粉 1%）中振荡混匀，再倒入经灭菌后适度熟化的黍米中，充分混匀后瓶口加盖可透气瓶塞，在 20℃和 12L∶12D 的光照培养箱中静止培养 15 天。在此期间不作任何干扰处理。

1.3 产孢量测定

从培养的第 3 天起，隔日任取 1 瓶黍米培养物，从中任取 12 颗米粒测定每粒黍米培养物的产孢潜能。将培养后的单粒黍米分置于直径仅 13 mm 的 2%水琼脂平板的中央，然后平板倒置在直径相同、高 10 mm 的凹底容器之上，容器凹底中事先注入 200 μL 0.5%十二烷基硫酸钠（SDS）溶液。此容器为自制的封闭式孢子采集装置，专为准确测定单颗米粒培养物的产孢量而设计，凹底中的 SDS 溶液可收集米粒上弹射下来的分生孢子，使孢子失活但不影响其形态。然后，将所有悬置单颗米粒培养物的采孢装置维持在上述相同温光条件下，每隔 24 h 更换凹底容器，直至米粒培养物无孢可产。从每个凹底容器中的孢子液中用移液器取样，显微镜下观察计数血球计数板上 15 个 0.1 μL 液样中的孢子数，换算为凹底容器中的孢子总数，即为当日该米粒的产孢数；单粒黍米逐日产孢数累计相加，即得其产孢总量。

1.4 生物测定

以桃蚜 *Myzus persicae*（Sulzer）的若蚜为生物测定对象，离体甘蓝叶片法饲养（Feng *et al*.，1998）。甘蓝叶的叶柄基部用吸足十字花科蔬菜营养液的棉球包裹，使菜叶保鲜 2 周左右。每叶片放入直径 90 mm 的培养皿内，叶片上接入 10 头无翅成蚜任其繁殖 3 天后去除成蚜，全部若蚜（≥40 头/叶）用于接种。

将接菌后培养 7 天的黍米均匀密布于 2%水琼脂平板（直径 90 mm）上，在 20℃下保持 24 h 后进入产孢盛期，作为接种蚜种的侵染体来源。接种时，将产孢盛期的水琼脂平板倒置于载有若蚜的培养皿之上，使皿内叶片上的蚜虫暴露在平板上弹射而下的孢子浴（spore shower）之中，通过控制孢子浴时间而

获得不同的孢子接种剂量，并用不接种的 2 皿相同若蚜作为对照。孢子浴期间，在载蚜培养皿两侧各放一张盖玻片（18 mm × 18 mm）收集孢子，孢子浴后每张盖玻片在显微镜下随机观察 5 个视野（0.785 mm^2/视野）中的孢子数，由此计算皿内蚜虫实际接种的平均孢子剂量（孢子数/mm^2）。蚜虫接种后继续在 20℃和 12L∶12D 的温光条件下饲养 7 天，逐日定时观察发病死亡情况，病死蚜尸和新生若蚜及时移出，蚜尸保湿过夜后逐头镜检以确诊死因。

1.5　数据处理与分析

对不同天数黍米培养物产孢总量的变异进行方差分析和 Tukey 's HSDs 多重比较。所获桃蚜生测数据采用时间-剂量-死亡率模型（Feng *et al*.，1998；唐启义和冯明光，2002）进行模拟分析。桃蚜接种某一剂量 d_i 后特定时间区间（t_{j-1}，t_j）即某一天内较前一天的死亡率，称为条件死亡概率，可表为：

$$q_{ij} = 1 - \exp[-\exp(\gamma_j + \beta\log_{10}(d_i))] \quad (1)$$

该模型可通过二项变量 q_{ij} 的最大似然函数逼近法进行模拟，并在模拟中用对照中的背景死亡率进行校正；再通过叠加特定区间的时间效应参数 γ_j 而获得累计死亡概率模型：

$$p_{ij} = 1 - \exp[-\exp(\tau_j + \beta\log_{10}(d_i))] \quad (2)$$

式中，p_{ij} 表示剂量 d_i 从接种起至时间 t_j 的死亡率，称为累计死亡概率；β 为剂量效应参数，两式中相通；τ_j 为累计时间效应参数，计算式为：

$$\tau_j = \ln\left(\sum_{k=1}^{j} e^{\gamma_k}\right) \quad (3)$$

最后，用模拟获得的剂量效应参数和累计时间效应参数估计出随时间而变化的致死中浓度 LC_{50}、LC_{90} 和随剂量而变化的致死中时 LT_{50}。所有分析及模拟运算采用 DPS 软件（唐启义和冯明光，2002）。

2　结果与分析

2.1　黍米培养物与产孢潜能

所用黍米卵圆形，平均千粒重 5.14 g，粒径为 1.4 ~ 2.0 mm × 2.0 ~ 2.6 mm × 2.5 ~ 3.2 mm。经热水浸泡和蒸汽灭菌后，米粒膨胀疏松，实测含水量为 45%。将安徽虫瘟霉平板菌落挑碎接入后，菌体在米粒上生长良好，20℃培养 3 天后即可见米粒表面被菌丝包裹，培养 7 天左右米粒上菌丝层变得致密。

在水琼脂平板上复水培养期间，黍米培养物可持续产孢 6 天（表 1）。第 1 天产孢量占产孢总量的 8.2% ~ 22.4%，第 2 天占 32.3% ~ 57.2%，第 3 天占 12.3% ~ 26.6%，前 3 天累计产孢量占总产孢量的 68.7% ~ 93.6%。在第 4 ~ 6 天，培养物的产孢量分别仅占总产孢量的 3.1% ~ 12.3%、2.1% ~ 11.3% 和 1.2% ~ 7.2%。不同天数的黍米培养物在不同时段的产孢变化的总趋势是次日达到最大后逐日递减，第 6 天后基本上产孢终止。方差分析表明，安徽虫瘟霉固体培养物的产孢总量因培养天数不同而差异极显著（$F_{6,66} = 186.5$，$P < 0.01$），但培养天数相同的米粒之间却差异不显著（$F_{11,66} = 1.02$，$P = 0.44$）。如表 1 所列，培养 7 天的黍米产孢量最大，达 12.99×10^4 个孢子/粒。培养时间过短或过长，每粒黍米的产孢量均显著降低，如培养 3 天的平均产孢量为 5.44×10^4 个孢子/粒，培养 11、13 和 15 天的产孢量依次下降至 5.81×10^4、2.95×10^4 和 1.95×10^4 个孢子/粒。显然，20℃下用黍米培养安徽虫瘟霉以 5 ~ 9 天为宜，而 7 天最佳。

表 1　安徽虫瘟霉黍米培养物的产孢潜能观察

Table 1　Sporulation capacity of *Zoophthora anhuiensis* grown on broomcorn millet grains

培养天数 Incubation days	日产孢数/粒（× 10^4）Number of conidia/grain/day（× 10^4）						合计 Total（× 10^4）
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	
3	0.68 ± 0.22	3.11 ± 0.57	0.81 ± 0.38	0.31 ± 0.09	0.30 ± 0.04	0.21 ± 0.06	5.44 ± 0.79 d
5	1.72 ± 0.78	5.45 ± 0.75	1.26 ± 0.62	0.77 ± 0.71	0.79 ± 0.23	0.22 ± 0.08	10.21 ± 0.99 b
7	1.88 ± 1.54	6.99 ± 1.28	3.33 ± 0.79	0.39 ± 0.49	0.26 ± 0.05	0.14 ± 0.04	12.99 ± 2.16 a
9	0.65 ± 0.19	4.23 ± 1.29	1.68 ± 0.45	0.63 ± 0.20	0.45 ± 0.16	0.40 ± 0.26	8.04 ± 1.60 c
11	0.65 ± 0.31	3.28 ± 0.42	1.00 ± 0.23	0.51 ± 0.19	0.23 ± 0.15	0.13 ± 0.07	5.81 ± 0.65 d
13	0.66 ± 0.18	1.12 ± 0.28	0.50 ± 0.13	0.31 ± 0.06	0.19 ± 0.03	0.16 ± 0.03	2.95 ± 0.36 e
15	0.35 ± 0.09	0.63 ± 0.13	0.37 ± 0.14	0.24 ± 0.04	0.22 ± 0.08	0.14 ± 0.03	1.95 ± 0.27 e

表中数据为平均值 ± 标准差，不同小写字母表示相互间差异显著。

Data in the table are mean ± *SD* and means with different lowercase letters differed significantly (Tukey 's HSDs, $P < 0.05$).

2.2 杀蚜活性

2.2.1 时间-剂量-死亡反应观察：用培养 7 天的黍米产生的孢子对桃蚜若蚜进行孢子浴接种，共获得 9 个剂量处理（7.9 ~ 134.9 个孢子/mm^2），每处理 40 ~ 51 头若蚜（表 2）。孢子浴接种后，蚜虫的发病死亡多发生于第 3 ~ 6 天，不同剂量下 7 天内的累计死亡率为 26.53% ~ 92.00%，蚜尸表现典型的虫瘟霉症状，而对照处理（CK）中的 102 头蚜虫中仅 5 头死亡（占 4.90%）且不表现任何虫瘟霉症状。

2.2.2 时间-剂量-死亡率模型模拟：用表 2 中数据先拟合条件死亡概率模型，拟合中异质性测验不显著（Hosmer-Lemeshow $C = 8.41$，$df = 8$，$P = 0.39$），说明模型拟合很好；由此获得累计死亡概率模型的各参数值及其剂量与时间效应的方差 Var（τ_j）和协方差 Cov（β，τ_j）（表 3）。两个拟合模型的生物学意义见图 1 所示，接种后第 5 天的最高条件死亡概率为拟合的桃蚜发病死亡高峰，各剂量下逐日累计死亡概率则是安徽虫瘟霉黍米培养物对桃蚜侵染力的总体反映。

表 2 用安徽虫瘟霉黍米培养物弹射的分生孢子接种桃蚜后的时间-剂量-死亡反应观察

Table 2 The time-dose-mortality response of *Myzus persicae* nymphs to the shower of *Zoophthora anhuiensis* conidia discharged from millet grain cultures

孢子浴剂量 Spore shower (Number of conidia/mm^2)	试蚜数 Number of aphids tested	逐日累计病死蚜数 Daily count of mycosed aphids							死亡率 Mortality (%)
		Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7	
CK	102	1	2	2	3	4	5	5	4.90
7.9	49	0	1	2	5	12	12	13	26.53
11.7	44	0	2	3	6	11	12	14	31.82
19.5	48	1	3	5	9	15	16	17	35.42
27.7	47	1	4	8	13	20	22	23	48.94
57.7	40	1	3	6	10	18	21	23	57.51
64.2	44	1	2	6	13	25	27	28	63.63
72.7	46	1	4	6	16	31	34	35	76.09
110.9	51	0	2	5	13	29	42	43	84.31
134.9	50	2	5	9	16	33	43	46	92.00

表 3 黍米培养安徽虫瘟霉对桃蚜的时间-剂量-死亡率模型模拟及参数估计

Table 3 Parameters estimated from the modeling of time-dose-mortality (TDM) data in the bioassay of *Zoophthora anhuiensis* millet cultures on *Myzus persicae* nymphs

条件死亡概率模型 Conditional TDM model				累计死亡概率模型 Cumulative TDM model			
Parameter[a]	Mean	*SE*	*t* 值[b]	Parameter[a]	Mean	Var (τ_j)	Cov (β, τ_j)
β	1.555	0.187	8.300	β	1.555	0.017	0.017
γ_1	−7.225	0.599	12.056	τ_1	−7.225	0.175	−0.031
γ_2	−5.948	0.421	14.122	τ_2	−5.702	0.080	−0.030
γ_3	−5.416	0.392	13.828	τ_3	−4.856	0.066	−0.031
γ_4	−4.608	0.364	12.673	τ_4	−4.031	0.060	−0.031
γ_5	−3.652	0.346	10.557	τ_5	−3.130	0.056	−0.030
γ_6	−4.257	0.378	11.256	τ_6	−2.849	0.056	−0.030
γ_7	−4.979	0.413	12.056	τ_7	−2.737	0.055	−0.030

[a] 下标表示孢子浴接种后相应时间区间（接种后第 j 天）或累计天数 Each digital subscript with γ and τ denotes the specific day after spray (the j-th day) or the number of days.

[b] 所有参数估计值的 t 检验均达极显著水平 All estimated parameters were significant ($P < 0.01$) by the Student's t tests.

2.2.3 致死剂量与时间效应：用表 3 中累计死亡概率模型的参数估计值及其方差和协方差计算出安徽虫瘟霉黍米培养物对桃蚜的致死浓度 LC_{50} 和 LC_{90} 及致死中时 LT_{50}（唐启义和冯明光，2002）。孢子浴接种后第 5 ~ 7 天各天的 LC_{50} 及其 95% 置信区间分别为 59.8（51.3 ~ 69.9）、39.5（33.6 ~ 46.4）和 33.5（28.3 ~ 39.6）个孢子/mm^2，相应的 LC_{90} 及其 95% 置信区间分别为 354（253 ~ 495）、234（178 ~ 306）和 198（154 ~ 254）个孢子/mm^2。此外，在 57.7 ~ 134.9 个孢子/mm^2 的接种剂量范围内，致死中时 LT_{50} 从 5.1 天下降到 4.3 天。

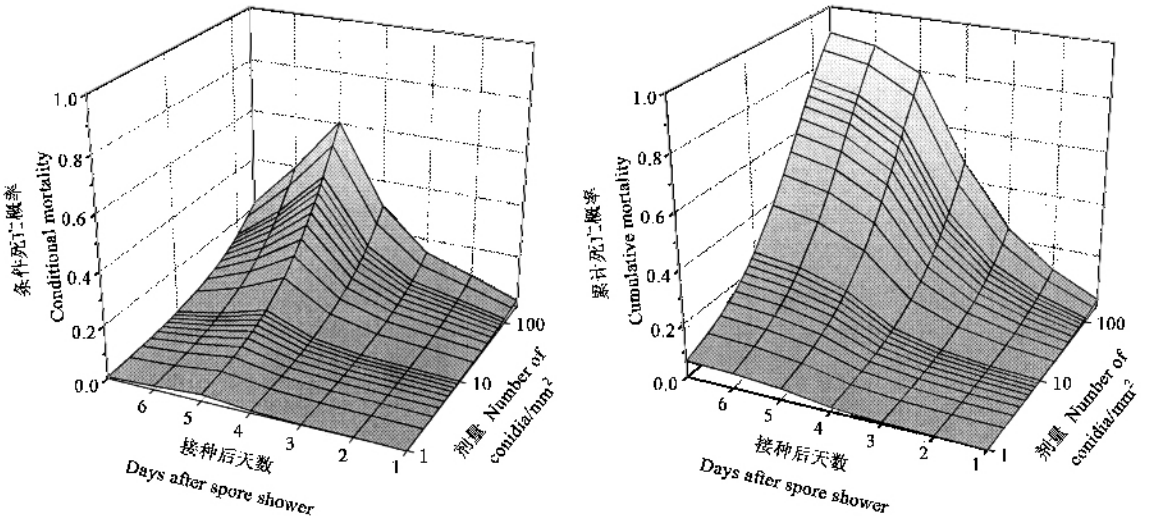

图 1　安徽虫瘟霉黍米培养物侵染桃蚜的条件死亡概率(左)和累计死亡概率(右)模拟

Fig. 1　The plots for the conditional (left) and cumulative (right) mortality probabilities of *Myzus persicae* nymphs infected by the conidia of *Zoophthora anhuiensis* cultures grown on broomcorn millet grains

3　讨论

以上结果表明，用黍米作为基质直接培养安徽虫瘟霉，方法极其简单，成本低廉，仅需一周左右。由此获得米粒培养物不仅产孢量大，而且持续时间长达 6 天，远长于新鲜蚜尸 3 天左右的产孢时间(Hua and Feng, 2003)。单粒黍米的大小与无翅成蚜相仿，但产孢量高达 13.0×10^4 个孢子，也优于新鲜蚜尸如新蚜虫疠霉的 8.4×10^4 个孢子/头(Hua and Feng, 2003)和飞虱虫疠霉的 2.3×10^4 个孢子/头(Feng and Liang, 2003)。因此，安徽虫瘟霉等对营养条件要求极为苛刻的蚜虫专化性病原真菌，完全可采用黍米培养法大量繁殖。虽然黍米培养虫霉获得成功的原因很难概括，但作为营养丰富的杂粮，黍米含蛋白质 9.6%、脂肪 0.9% 及碳水化合物 76.3%，此外还富含矿物营养及维生素。这些营养的综合构成可能恰好满足虫霉对营养的要求，使黍米成为虫霉侵染体繁殖迄今所知最佳的单一固体基质(Feng and Liang, 2003；Feng and Hua, 2005；Hua and Feng, 2005)，由此建立的简易培养方法使虫霉作为重要害虫生防真菌资源的可利用性大大增强。

从时间和剂量效应来看，安徽虫瘟霉黍米培养物的杀蚜活性很强，对桃蚜接种后第 5～7 天各天的 LC_{50} 值与我们数年前用液培菌丝产孢接种桃蚜的 87、44 和 34 个孢子/mm^2 的 LC_{50} 值(Feng *et al*., 1998)基本一致，而 LT_{50} 仅 4～5 天。这说明寄主专化性虫霉的黍米培养不仅简单易行，而且菌种的产孢和侵染生物学特性在培养物中被充分体现，小小的每颗米粒如同自然罹病而死的虫尸，可散布于田间而诱发害虫流行病，其开发和利用值得进一步深入研究。

参 考 文 献 (References)

Feng MG, Chen C, Chen B, 2004. Wide dispersal of aphid-pathogenic Entomophthorales among aphids relies upon migratory alates. *Environ. Microbiol.*, 6：510－516.

Feng MG, Hua L, 2005. Factors affecting the sporulation capacity during long-term storage of the aphid-pathogenic fungus *Pandora neoaphidis* grown on broomcorn millet. *FEMS Microbiol. Lett.*, 245：205－211.

Feng MG, Li HP, 2001. Development of *Zoophthora anhuiensis* induced epizootic in *Myzus persicae* colonies and an analytical model to describe its trend. *Acta Ecol. Sin.*, 21(10)：1 607－1 612. [冯明光，李惠萍，2001. 安徽虫瘟霉诱发的桃蚜流行病与流行模型. 生态学报，21(10)：1 607－1 612]

Feng MG, Li HP, 2003. Experimental epizootiology of *Zoophthora anhuiensis* (Entomophthorales) against *Myzus persicae* (Homoptera：Aphididae) with a description of a modified Gompertz model for aphid epizootics. *Environ. Microbiol.*, 5：1 203－1 211.

Feng MG, Liang Y, 2003. Biological aspects on the cultures of the entomophthoralean fungus *Pandora delphacis* grown on broomcorn millets. *Chin. Sci. Bull.*, 48：1 816－1 821.

Feng MG, Liu CL, Xu JH, Xu Q, 1998. Modeling and biological implication of the time-dose-mortality data for the entomophthoralean fungus, *Zoophthora anhuiensis* on the green peach aphid, *Myzus percisae*. *J. Invertebr. Pathol.*, 72：246－251.

Hua L, Feng MG, 2003. New use of broomcorn millets for production of granular cultures of aphid-pathogenic fungus *Pandora neoaphidis* for

high sporulation potential and infectivity to *Myzus persicae*. *FEMS Microbiol*. *Lett*., 227:311 – 317.

Hua L, Feng MG, 2005. Broomcorn millet grain cultures of entomophthoralean fungus *Zoophthora radicans*: sporulation capacity and infectivity to *Plutella xylostella*. *Mycol*. *Res*., 109(3):319 – 325.

Humber RA, 1989. Synopsis of a revised classification for the Entomophthorales (Zygomycotina). *Mycotaxon*, 34:441 – 460.

Latteur G, Godefroid J, 1983. Trial of field treatment against cereal aphids with mycelium of *Erynia neoaphidis* (Entomophthorales) produced *in vitro*. In: Cavalloro R ed. Aphid Antagonists. Rotterdam, the Netherlands: AA Balkema. 2 – 10.

Li HP, Feng MG, 2000. Effect of temperature and light on the spore production of the entomophthoralean fungus *Zoophthora anhuiensis*. *Mycosystema*, 19(3):348 – 353. [**李惠萍, 冯明光**, 2000b. **温度与光照对安徽虫瘟霉产孢格局的影响**. **菌物系统**, 19(3):348 – 353]

Li HP, Feng MG, 2001a. Influence of temperature and relative humidity on epizootiological features of *Zoophthora anhuiensis* in *Myzus persicae* colonies. *Chin*. *J*. *Appl*. *Ecol*., 12(4):585 – 589. [**李惠萍, 冯明光**, 2001a. **温湿度对安徽虫瘟霉在桃蚜居群中流行的影响**. **应用生态学报**, 12(4):585 – 589]

Li HP, Feng MG, 2001b. Impact of *Zoophthora anhuiensis* (Entomphthoraceae) on the fecundity of *Myzus persicae* apterae during the latent period of its infection. *Chin*. *J*. *Appl*. *Ecol*., 12(5):749 – 753. [**李惠萍, 冯明光**, 2001b. **安徽虫瘟霉在侵染潜伏期内对桃蚜无翅成蚜生殖力的影响**. **应用生态学报**, 12(5):749 – 753]

Li ZZ, 1986. *Erynia anhuiensis*, a new pathogen of aphids. *Acta Mycol*. *Sin*., 5(1):1 – 6. [**李增智**, 1986. **蚜虫的病原真菌新种——安徽虫疫霉**. **真菌学报**, 5(1):1 – 6]

McCabe D, Soper RS, 1985. Preparation of an entomopathogenic fungal insect control agent. U.S. Patent 4530834.

Shah PA, Aebi M, Tuor U, 1998. Method to immobilize the aphidpathogenic fungus *Erynia neoaphidis* in an alginate matrix for biocontrol. *Appl*. *Environ*. *Microbiol*., 64:4 260 – 4 263.

Shah PA, Aebi M, Tuor U, 1999. Production factors involved in the formulation of *Erynia neoaphidis* as alginate granules. *Biocontrol Sci*. *Technol*., 9:19 – 28.

Tang QY, Feng MG, 2002. DPS Data Processing System for Practical Analysis. Beijing: Science Press. 1 – 648. [**唐启义, 冯明光**, 2002. **实用统计分析及其** DPS **数据处理系统**. **北京: 科学出版社**. 1 – 648]

Wilding N, Latteur G, 1987. The Entomophthorales-problems relative to their mass production and their utilization. *Med*. *Fac*. *Landbouww*. *Rijksuniv*. *Gent*., 52:159 – 164.

(责任编辑: 吴明宇)